

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problems Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

① RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

⑪ N° de publication :

2 785 098

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

⑫ N° d'enregistrement national :

98 13448

⑬ Int Cl<sup>7</sup> : H 01 S 3/0941, H 01 S 5/30

⑭

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

⑮ Date de dépôt : 27.10.98.

⑯ Priorité :

⑰ Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 28.04.00 Bulletin 00/17.

⑱ Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule*

⑲ Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

⑴ Demandeur(s) : THOMSON CSF Société anonyme —  
FR.

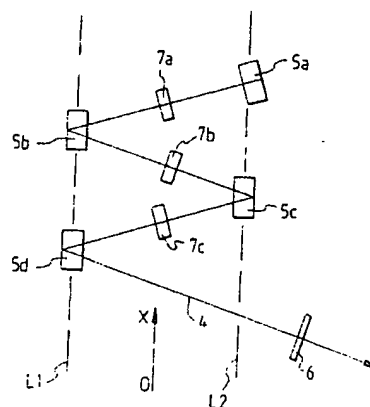
⑵ Inventeur(s) : POCHOLLE JEAN PAUL, LARAT  
CHRISTIAN et FEUGNET GILLES.

⑶ Titulaire(s) :

⑷ Mandataire(s) : THOMSON CSF.

⑸ LASER SOLIDE POMPE PAR DIODE LASER.

⑹ Laser pompé comprenant plusieurs milieux actifs la-  
sers (5a à 5d) placés en série dans une cavité optique (6a,  
6b) et au moins une source optique de pompe (3a à 3c)  
émettant au moins un faisceau de pompe vers les milieux  
actifs lasers; dans chaque milieu actif laser, l'axe de la cavi-  
té optique (6a, 6b) étant quasi-colinéaire ou formant un an-  
gle aigu avec la direction du faisceau de pompe, ladite  
cavité optique étant repliée à l'intérieur de chaque milieu ac-  
tif laser par réflexion sur une face réfléchrice (1a) dudit milieu  
actif laser.



FR 2 785 098 - A1



## LASER SOLIDE POMPE PAR DIODE LASER

L'invention concerne un laser solide pompé par diode laser et plus particulièrement un laser modulaire comprenant plusieurs lasers solides et son application aux lasers doublés en fréquence.

Les lasers solides pompés par diodes laser ont connu un développement important ces dernières années du fait de nombreux avantages sur les autres familles de laser (efficacité, compacité, durée de vie, laser « tout état solide », etc...). Ils peuvent fonctionner en régime continu ou en régime impulsionnel.

Les diodes laser transfèrent de l'énergie au milieu actif en émettant de la lumière à une longueur d'onde correspondant à une raie d'absorption du milieu actif (YAG:Nd par exemple). Ce pompage résonnant par diodes laser est ainsi plus efficace qu'un pompage par lampe. De plus, le faisceau des diodes laser étant directif, il permet de réaliser un pompage localisé spatialement dans le milieu actif. Le plus efficace consiste à faire se propager colinéairement le faisceau pompe et le faisceau laser (pompage longitudinal). On obtient ainsi un bon recouvrement spatial entre les deux faisceaux, d'où un rendement énergétique important. Si de surcroît la taille du faisceau de pompe est adaptée à la taille du mode fondamental de la cavité laser, l'émission laser se fait préférentiellement sur ce mode.

Pour une taille de faisceau de diode donné, la puissance disponible est limitée (quelques dizaines de watts maximum dans les cas usuels). L'objet de l'invention concerne une architecture de lasers solides pompés par diodes laser longitudinalement et permettant d'obtenir une puissance de sortie importante.

L'invention concerne donc un laser pompé comprenant plusieurs milieux actifs lasers placés en série dans une cavité optique et au moins une source optique de pompe émettant un faisceau de pompe vers chaque milieu actif laser ; dans chaque milieu actif laser, l'axe de la cavité optique étant quasi-colinéaire ou formant un angle aigu avec la direction du faisceau de pompe, ladite cavité optique étant repliée à l'intérieur de chaque milieu actif laser par réflexion sur une face réflectrice dudit milieu actif laser.

Les différents objets et caractéristiques de l'invention apparaîtront plus clairement dans la description faite à titre d'exemple et dans les figures annexées qui représentent :

- la figure 1, un module de base d'un laser selon l'invention ;
- la figure 2, un exemple de laser replié selon l'invention ;
- les figures 3a et 3b, des variantes de réalisation du laser selon l'invention ;
- 5 - la figure 4, un laser à multi-passages n'utilisant que deux milieux actifs ;
- les figures 5a et 5b, un exemple de réalisation dans lequel les milieux actifs lasers sont disposés selon un cercle ;
- la figure 6, une commande des milieux actifs permettant d'augmenter la fréquence impulsionnelle ;
- 10 - la figure 7, une application comportant un milieu non linéaire.

La figure 1 représente un module laser de base selon l'invention.

Ce module laser est composé d'un milieu laser actif 1, d'une diode laser de pompe 3a et des moyens 3b pour coupler au milieu actif le faisceau issu de la diode laser. La cavité est fermée par deux miroirs 2a et 2b. Le miroir 2b permet une transmission à la longueur d'onde laser. Par milieu laser actif il faut entendre milieu solide présentant une ou plusieurs transitions laser (YAG:Nd, YVO<sub>4</sub>:Nd, saphir : Ti, etc.). Par diode laser de pompage il faut entendre diode laser unitaire, tout assemblage de diodes laser (barrette, empilement de barrettes, plaques à émission par la surface, etc.) ou tout assemblage de diodes ou diode unitaire dont le faisceau a été remis en forme (lentille cylindrique, micromiroirs, miroirs, lentilles holographiques, injection dans une ou des fibres optiques, etc). Par moyens 3b, pour coupler le faisceau issu de la diode laser et le milieu actif il faut entendre des moyens de focalisation du faisceau 3a dans le milieu actif 1 par une lentille ou un ensemble de lentilles ; focalisation du faisceau de pompe 3a dans le milieu actif par un concentrateur de lumière conique ; injection du faisceau de pompe 3a en plaçant la face de sortie de la diode laser (ou du système de remise en forme du faisceau) tout près du milieu actif 1 etc.

Le faisceau de pompe 3c pénètre dans le milieu actif 1 par la face 1a supportant un traitement dichroïque de très grand coefficient de réflexion à la longueur d'onde laser (par exemple  $R > 99,5 \%$ ) et de grande transmission à la longueur d'onde de pompe (par exemple  $T > 95 \%$ ). Le faisceau laser 4 pénètre dans le milieu actif 1 par la face 1b et se réfléchit sur la face 1a avant de ressortir par la face 1b.

Le faisceau laser 4 et le faisceau de pompe 3c ont un angle d'incidence sur la face 1a nul ou petit ( $< 15^\circ$ ). On réalise bien ainsi un pompage longitudinal.

La face 1a est plane ou courbe pour compenser la lentille thermique induite dans le milieu actif 1 par son échauffement sous pompage. Pour que le faisceau laser 4 ne subisse pas de pertes par réflexion sur la face 1b, celle-ci est soit traitée antireflet à la longueur d'onde laser soit inclinée pour que le faisceau laser soit à l'incidence de Brewster (faisceau polarisé). Dans le premier cas, la face 1a est plane ou courbe par exemple pour compenser la lentille thermique.

La figure 2 représente un exemple d'architecture laser. Elle est composée de plusieurs modules, de préférence identiques, mis les uns à la suite des autres dans la cavité laser. La figure 2 expose une réalisation possible d'une cavité composée par exemple de quatre modules de pompage 5a à 5d. La cavité laser est dans ce cas fermée par un des modules 5a et un miroir 6b présentant une transmission non nulle à la longueur d'onde laser par où sort le faisceau laser. Les milieux lasers 5a, 5c d'une part et 5b, 5d d'autre part sont arrangés selon des lignes L1, L2 disposées de part et d'autre d'un axe OX. Les faces des milieux lasers les plus éloignées de l'axe OX par rapport au milieu laser sont réfléchissantes à la longueur d'onde laser de telle façon que le faisceau laser est réfléchi d'une ligne L1 de milieux lasers à l'autre ligne L2 de milieux lasers.

L'adjonction de lentilles intermédiaires 7a à 7c ou de tout autre système de contrôle de faisceau entre les modules de pompage peut s'avérer nécessaire pour que le faisceau laser ait la même taille dans chaque module quelque soit leur nombre. On peut également envisager l'emploi de miroirs actifs compensant les perturbations de phase et se substituant à certains des modules laser.

L'intérêt de l'invention est de pouvoir combiner l'efficacité du pompage longitudinal avec des puissances laser importantes. La modularité a cet avantage qu'il suffit de définir un module puis de faire le facteur d'échelle en les multipliant. D'où entre autres, des réductions de coût de conception et de production.

La figure 3a représente une variante de réalisation de l'architecture de la figure 2.

Dans cette architecture, tous les milieux actifs lasers 5a à 5d sont disposés selon des plans parallèles. Il faut donc prévoir un miroir 6a perpendiculaire au faisceau laser 4'. Tous les faisceaux pompe émis par les diodes lasers 3aa à 3ad vers les milieux actifs sont donc parallèles entre eux y compris celui dirigé vers le milieu actif 5a.

La figure 3b représente une structure repliée dans laquelle les milieux actifs lasers 5a à 5f sont arrangés sur deux lignes parallèles à une direction OX et sont en même nombre sur ces deux lignes. Les milieux actifs 5c à 5f ont leur face de réflexion parallèles à la direction OX. Les milieux actifs 5a et 5b sont placés en vis-à-vis et se renvoient le faisceau laser. Les miroirs 6b et 6b de la cavité optique de l'ensemble sont disposés tous deux du même côté par rapport à l'ensemble de milieux actifs lasers. On réalise ainsi une cavité en anneau. En prévoyant dans la cavité un composant optique unidirectionnel, on réalise une cavité unidirectionnelle.

La figure 4 représente une architecture laser dérivée de celle représentée en figure 3a. Elle ne comporte que deux milieux actifs lasers 17a et 17b. Le milieu 17a englobe les milieux 5a et 5c de la figure 3a et le milieu 17b englobe les milieux 5b et 5d.

La figure 5a représente une variante de réalisation dans laquelle les milieux actifs lasers 9a à 9g sont disposés selon un cercle. De préférence, ce sont les faces réfléchissantes de ces milieux qui sont disposées selon un cercle. A l'emplacement de sortie du faisceau laser est placé un miroir de sortie 19. On a ainsi réalisé une cavité en anneau. Un élément optique unidirectionnel 18 est également prévu comme en figure 3b.

La figure 5b représente une variante de la figure 5a dans laquelle la cavité est fermée par deux miroirs 29 et 39. Au lieu de réaliser une cavité en anneau, on réalise ainsi l'équivalent d'une cavité linéaire.

La figure 6 représente un mode de commande permettant d'augmenter la fréquence impulsionnelle du système par multiplexage temporel. Par exemple, si on considère l'architecture de la figure 3b, les milieux actifs lasers 5a, 5c, 5e sont commandés par des impulsions de pompe A telles que représentées sur le diagramme d'impulsions A et les milieux actifs lasers 5b, 5d, 5f sont commandés par des impulsions de pompe B déphasées de  $\pi$  par rapport aux impulsions A.

Dans les différentes configurations qui viennent d'être décrites, on a prévu d'associer à chaque milieu actif laser une diode laser de pompe. Cependant, on peut également prévoir d'arranger les milieux actifs pour qu'ils soient le plus près possible les uns des autres de façon à pouvoir  
5 pomper plusieurs milieux actifs à l'aide d'un même faisceau laser. Dans le cadre de la configuration de la figure 4a, notamment, les faisceaux pompes 3c1 à 3c3 peuvent être un même faisceau et les faisceaux 3c4 à 3c6 peuvent également être un même faisceau.

Une cavité a été réalisée (voir figure 3a) avec un ou deux  
10 modules lasers (5a, 5b, ...) ; un miroir concave 6a de 20 cm de rayon de courbure incliné d'un angle de  $15^\circ$  et avec une réflectivité maximale à  $1,06 \mu\text{m}$  ; un miroir concave 6b de 10 cm de rayon de courbure et avec une réflectivité de 5 % à  $1,06 \mu\text{m}$ . Un laser comportant des modules de base ainsi conçu émet typiquement 6W à  $1,06 \mu\text{m}$  (pour 12 W de pompe). En  
15 plaçant en série 2 modules dans la cavité, nous avons obtenu 11,5 W, démontrant ainsi l'intérêt de l'approche modulaire.

Les diodes laser peuvent fonctionner en régime continu ou impulsionnel. De même, le laser peut fonctionner en mode relaxé (continu ou impulsions longues), ou en mode d'impulsions courtes par adjonction, par  
20 exemple, d'une cellule de déclenchement dans la cavité.

On peut ajouter dans la cavité une opération de conversion de fréquence exploitant les propriétés non linéaires de matériaux optiques (doublage, OPO, etc.). C'est ainsi que la figure 7 représente un laser possédant deux milieux actifs 1a, 1b agencés comme décrit précédemment.  
25 De plus, un milieu non linéaire 8 est placé dans la cavité réalisée par le miroir 13 et le milieu actif 1a.



## REVENDEICATIONS

1. Laser pompé comprenant plusieurs milieux actifs lasers (5a à 5d) placés en série dans une cavité optique (6a, 6b) et au moins une source optique de pompe (3a à 3c) émettant au moins un faisceau de pompe vers les milieux actifs lasers ; dans chaque milieu actif laser, l'axe de la cavité optique (6a, 6b) étant quasi-colinéaire ou formant un angle aigu avec la direction du faisceau de pompe, ladite cavité optique étant repliée à l'intérieur de chaque milieu actif laser par réflexion sur une face réfléchissante (1a) dudit milieu actif laser.

2. Laser selon la revendication 1, caractérisé en ce que chaque milieu actif laser est pompé par des sources optiques de pompe indépendantes les unes des autres.

3. Laser selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il comporte entre les milieux lasers des dispositifs de contrôle (7a à 7c) de la taille et de la divergence du faisceau laser.

4. Laser selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que les milieux lasers sont arrangés selon deux lignes parallèles (L1, L2) situées de part et d'autre d'un axe (OX), la face réfléchissante (1a) de chaque milieu laser étant la face du milieu laser la plus éloignée de l'axe (OX) par rapport au milieu laser).

5. Laser selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que les deux milieux lasers (5a, 5b) se faisant face et situés à une extrémité des deux lignes (L1, L2) sont orientés pour transmettre le faisceau laser de façon à constituer une cavité en anneau.

6. Laser selon l'une des revendications 4 ou 5, caractérisé en ce qu'il comporte deux milieux lasers (17a, 17b) situés chacun selon une ligne (L1, L2), le faisceau laser faisant des réflexions multiples entre les deux milieux lasers.

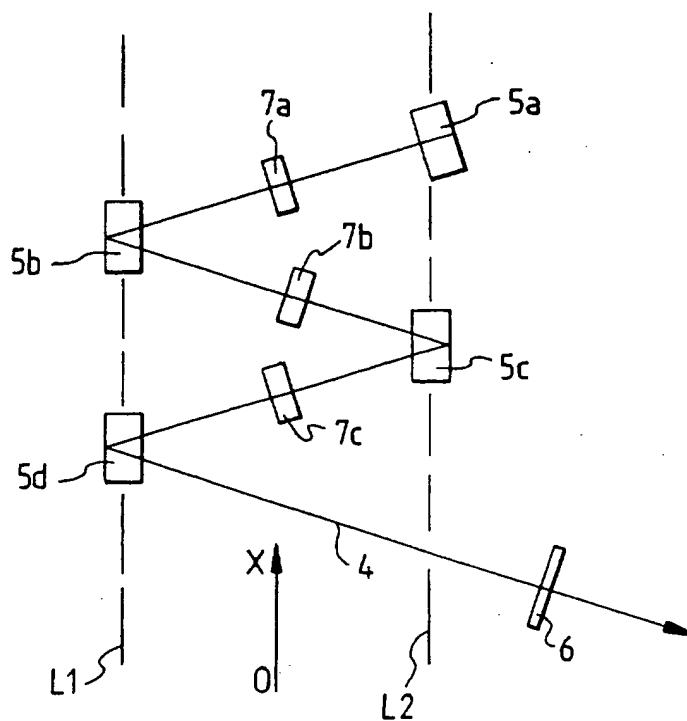
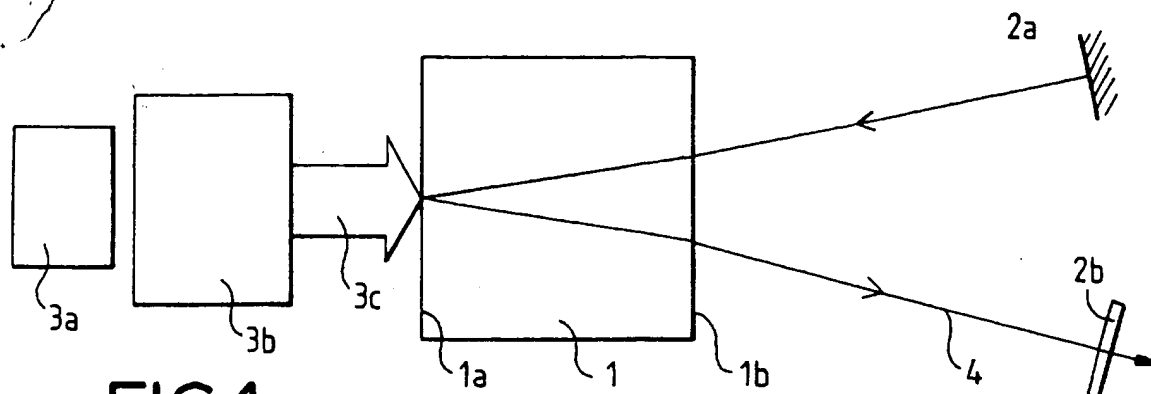
7. Laser selon l'une des revendications 5 ou 6, caractérisé en ce que le ou les milieux lasers d'une ligne (L1) sont pompés par un faisceau pompe et le ou les milieux lasers de l'autre ligne (L2) sont pompés par un autre faisceau de pompe.

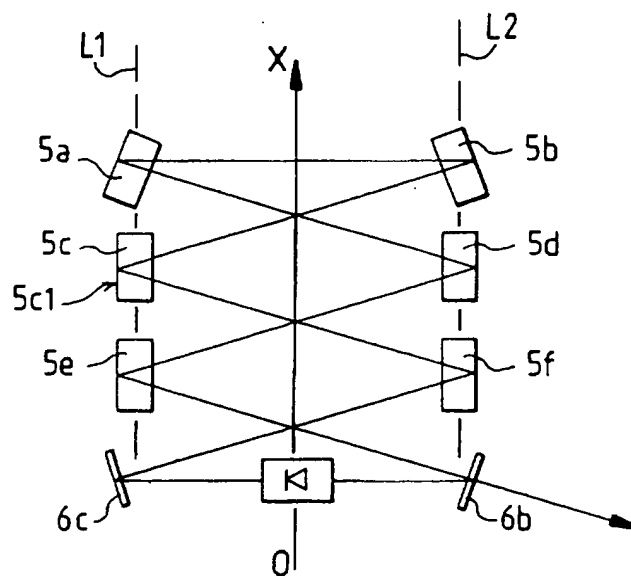
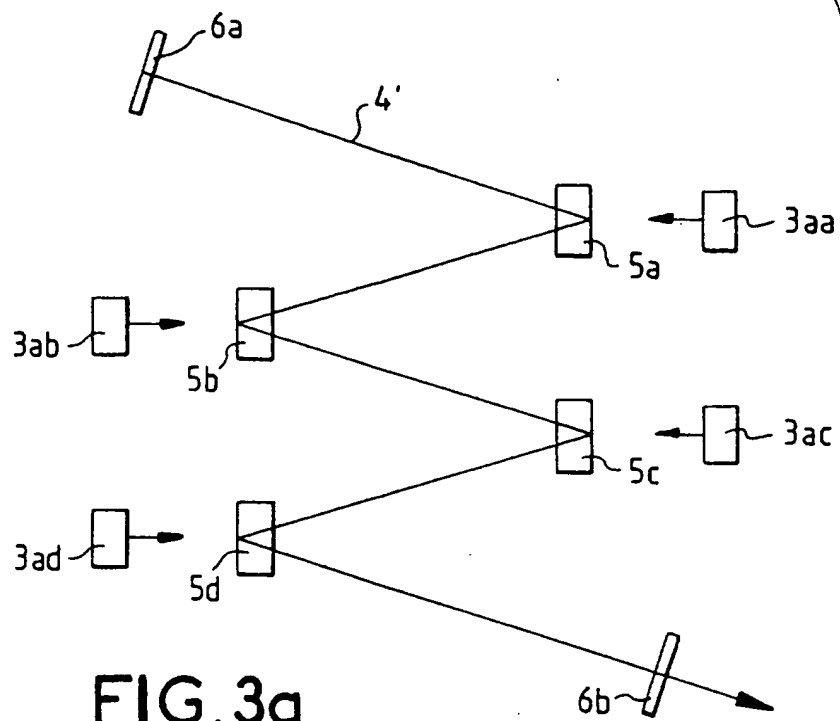
8. Laser selon la revendication 1, caractérisé en ce que les milieux actifs lasers (9a à 9g) sont disposés selon un cercle.

9. Laser selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'une partie des milieux actifs sont pompés par des premières impulsions de pompe ayant une phase déterminée et qu'une autre partie des milieux actifs sont pompés par des deuxièmes impulsions de pompe déphasés par rapport aux  
5 premières impulsions.

10. Laser selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'une moitié des milieux actifs sont pompés par les premières impulsions et que l'autre moitié des milieux actifs sont pompés par les deuxièmes impulsions, les deuxièmes impulsions étant déphasés de  $\pi$  par rapport aux premières  
10 impulsions.

11. Laser selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend un milieu en matériau non linéaire compris dans ladite cavité optique.





3/5

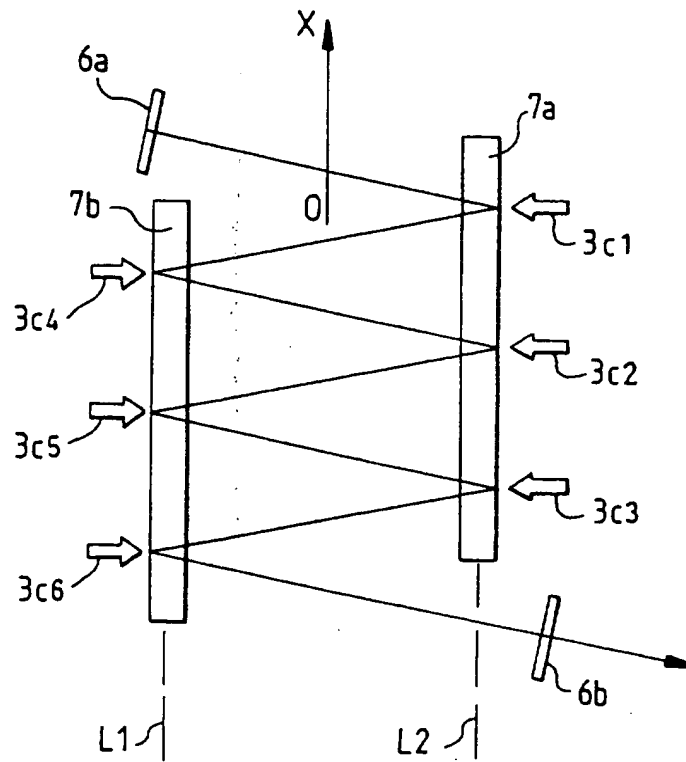


FIG. 4

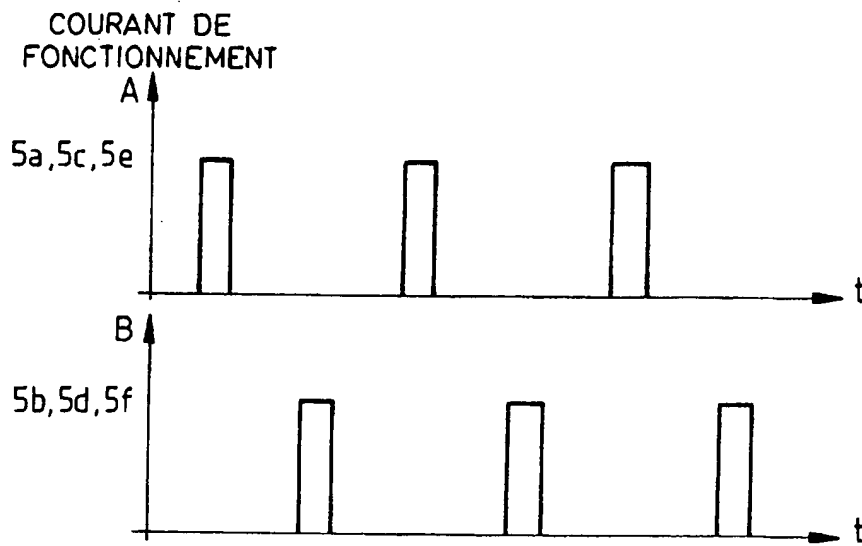


FIG. 6

4/5

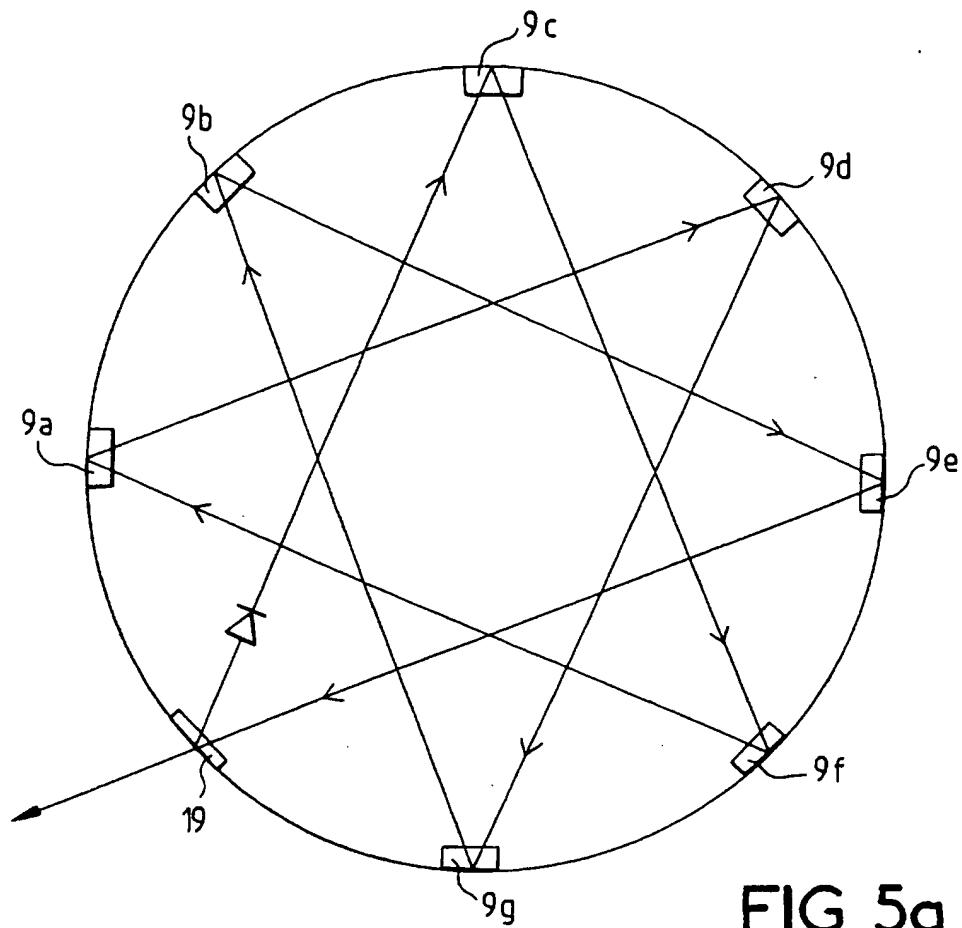


FIG. 5a

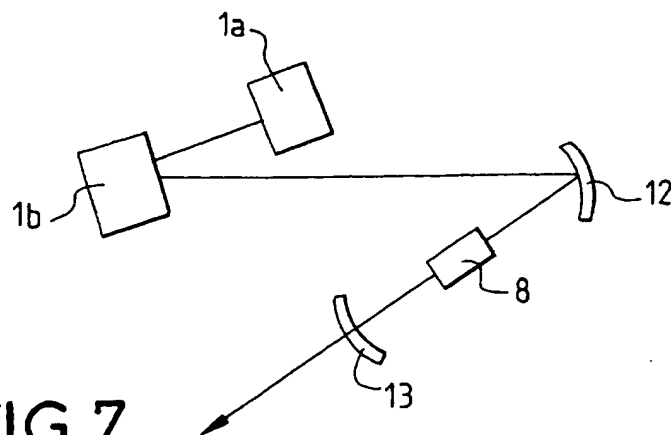


FIG. 7

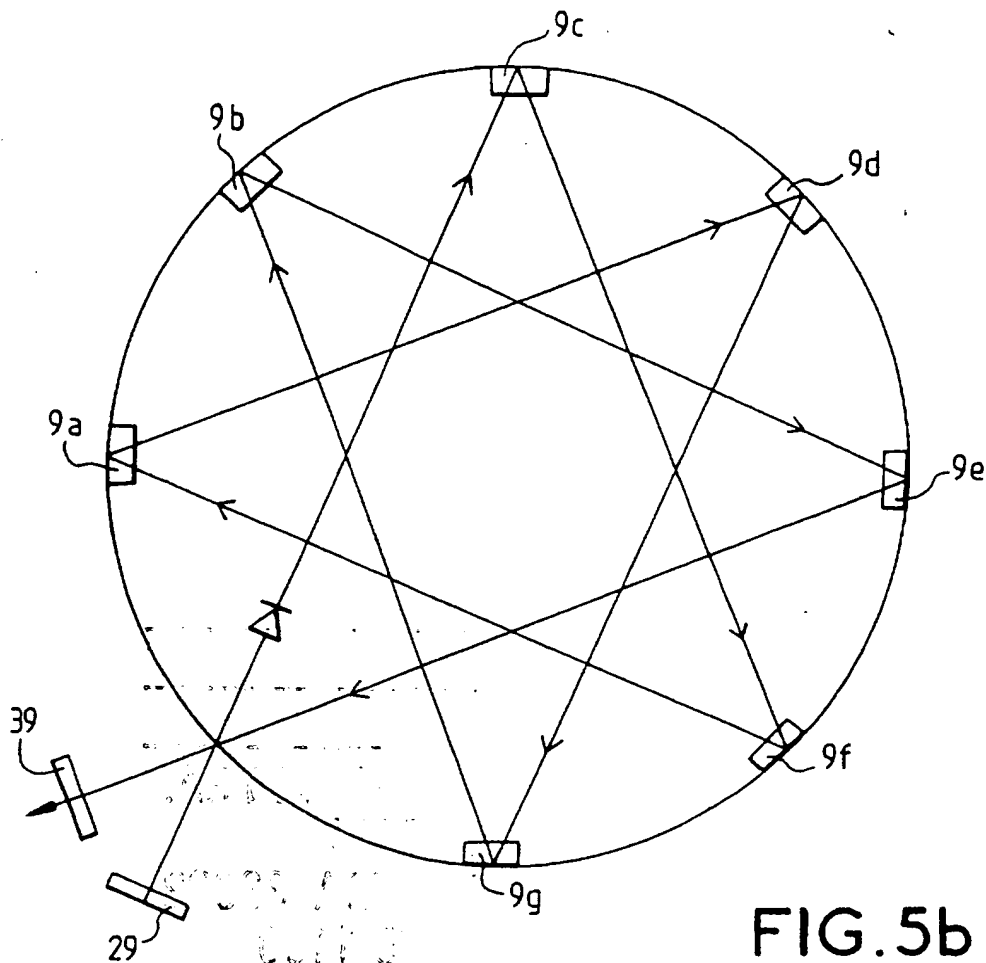


FIG. 5b

INSTITUT NATIONAL  
de la  
PROPRIETE INDUSTRIELLE

**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRELIMINAIRE**  
établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement  
national

FA 566030  
FR 9813448

| DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS   |   | Revendications<br>concernées<br>de la demande<br>examinée |
|---|---|---|
| Catégorie   | Citation du document avec indication, en cas de besoin,<br>des parties pertinentes  |   |
| X   | US 5 148 441 A (ITAI MASANORI)<br>15 septembre 1992   | 1-4,6,7   |
| Y   | * figures 1,2 *   | 9-11  |
| X   | DE 42 28 541 C (DEUTSCHE AEROSPACE)<br>13 janvier 1994<br>* figure 1 *  | 1,5,8   |
| Y   | EP 0 814 550 A (TRW INC) 29 décembre 1997<br>* abrégé; figure 4 *   | 9,10  |
| Y   | EP 0 632 551 A (DEUTSCHE FORSCH LUFT<br>RAUMFAHRT ;UNIV STUTTGART STRAHLWERKZEUGE<br>(DE) 4 janvier 1995<br>* figure 19 * | 11  |
| X   | US 5 237 584 A (SHANNON DAVID ET AL)<br>17 août 1993<br>* figures 1-3 *   | 1   |
|   |   | DOMAINES TECHNIQUES<br>RECHERCHES (Int.CL.6)              |
|   |   | H01S  |
| <p>DOCKET NO: <u>MOH-P 990638</u></p> <p>SERIAL NO: <u>10/016,864</u></p> <p>APPLICANT: <u>Ludewigt et al.</u></p> <p>LERNER AND GREENBERG P.A.<br/>P.O. BOX 2480<br/>HOLLYWOOD, FLORIDA 33022<br/>TEL. (954) 925-1100</p>  |   |   |
| Date d'achèvement de la recherche   |   | Examineur   |
| 2 juillet 1999  |   | Galanti, M  |
| CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES   |   |   |
| X : particulièrement pertinent à lui seul<br>Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un<br>autre document de la même catégorie<br>A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication<br>ou arrière-plan technologique général<br>O : divulgation non-écrite<br>P : document intercalaire                                  |   |   |
| T : théorie ou principe à la base de l'invention<br>E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure<br>à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date<br>de dépôt ou qu'à une date postérieure.<br>D : cité dans la demande<br>L : cité pour d'autres raisons<br>& : membre de la même famille, document correspondant |   |   |